

München 1960

Über elektrische Ströme in der Mundhöhle
in Verbindung mit Zahnersatzarbeiten

Helga Dönges

Aus der ärztlichen Abteilung der
staatlichen und gemeindlichen Unfallversicherung in Bayern
Leiter: Obermedizinalrat Privatdozent Dr. K. Link

ÜBER ELEKTRISCHE STRÖME IN DER MUNDHÖHLE
IN VERBINDUNG MIT ZAHNERSATZARBEITEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Helga Dönges

aus
Essen

München 1960

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Obermedizinalrat Privatdozent Dr. K. Link

Korreferent: Professor Dr. W. Büngeler und
Professor Dr. Dr. J. Heiß

Dekan: Professor Dr. Dr. H. Eyer

Tag der mündlichen Prüfung: 11. 10. 1960



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. Einleitung mit kurzem geschichtlichen Überblick	1
B. Allgemeiner Teil	
Zum Wesen elektrischer Ströme	2
I. Das bioelektrische Grundpotential	2
II. Das kurzgeschlossene Element	3
1. Das galvanische Element	4
2. Das Konzentrationselement	6
3. Das Lokalelement	7
III. Das offene Element	8
C. Hauptteil	
Für und Wider elektrischer Ströme	10
I. Meßergebnisse zwischen gleichen und verschiedenen Metallen in der Mundhöhle	10
II. Forderungen, die an die Auswahl und den kristallinen Aufbau von Dentalmetallen und Legierungen zu stellen sind	11
III. Feststellungen über Potentialänderungen, die am kurzgeschlossenen Element, in Bezug auf Stabilität und Verarbeitung der Dentallegierungen und auf der wechselnden Zusammensetzung des Speichels, gemacht werden	14
IV. Kritische Betrachtungen über Messungen elektrischer Potentiale im Munde	19
V. Über Krankheitsveränderungen bei Anwesenheit von Metallen im Munde	23
VI. Über die elektro-chemische Verträglichkeit von Dentalstahl und Dentalmetallen in der gleichen Mundhöhle	27
D. Diskussion	30
E. Zusammenfassung	32
F. Literaturnachweis	33

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit

A. EINLEITUNG

Seit 1865 wird in den Fach- und Laienkreisen die Frage diskutiert, ob in der Mundhöhle elektrische Ströme vorkommen, die schädigend wirken können.

Allgemein wird diese Erscheinung, deren auffallende Symptome wie u. a. Brennen der Zunge und Schleimhaut, metallischer Geschmack, auf Metalle zurückgeführt, die teils zur konservierenden Behandlung kranker Zähne und teils zur prothetischen Versorgung des Lückengebisses Verwendung finden.

Obwohl nach Greve (4) Goldarbeiten in Verbindung mit Edelsteinen oder Elfenbein in der menschlichen Mundhöhle schon vor 3000 Jahren angefertigt wurden, und die nachweisbar erste Amalgamfüllung der Chemiker Regnart 1818 aus der d'Arcetschen Masse (= acht Teile Wismuth, fünf Teile Blei, drei Teile Zinn, 1/10 Teil Quecksilber) hergestellt hat, beschrieb Hill (6) erst im Jahre 1865 als Erster das Auftreten eines elektrischen Stromes in der Mundhöhle durch Metalle. H. J. Tholuck (21) schreibt in seinem Bericht: "Entstehung und Wirkung elektrischen Stromes in der Mundhöhle", daß Chase 1880 behauptet hat, Amalgamfüllungen würden bei der "Verrostung" Zinn- und Silberoxyde bilden, die imstande wären, das neben der Füllung liegende Zahnbein wieder selbsttätig zu ersetzen. Die Haltlosigkeit dieser Hypothese vom "selbsttätigen Zahnbeinersatz" durch Oxydierung von Metallen liegt auf der Hand. Weiter beschreibt er einen eigenartigen Fall, den er zu behandeln hatte: Eine Frau hatte blitzartiges Stechen im Gesicht, das immer eine Zeitlang nach dem Essen auftrat. Die Ursache war eine Klammer, die an einem Goldbügel gelötet war und um einen Eckzahn mit einer Amalgamfüllung lag. Nach dem Essen hatten sich die in der Mundhöhle zurückgebliebenen Speisereste durch die Bakterienflora des Mundes in Milchsäure verwandelt. Tholuck nahm an, es hätten sich durch die Übersäuerung des Speichels optimale Bedingungen zur Bildung eines galvanischen Elementes eingestellt. A. Witzel (22) schrieb, daß im allgemeinen der trockene Kontakt zweier Füllungen, z. B. einer mit Amalgam nachgestopften Goldfüllung, hinsichtlich der Stromerzeugung, weniger gefährlich sei, weil der Speichel als Elektrolyt den Kontakt, der durch die Berührung einer Klammer oder einer Amalgamfüllung mit einer Krone oder Goldfüllung entstehe, beschleunige.

Die Anschauungen der genannten Autoren stützen sich also auf Beobachtungen aus der täglichen Praxis, weniger auf exakt wissenschaftliche Versuchsergebnisse. Erst in dem Jahre nach dem ersten Weltkrieg und in verstärktem Maße in der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg beschäftigten sich die Forscher wieder mit dem Problem. Das liegt wohl darin begründet, daß gerade in den Kriegs- und Nachkriegsjahren aus Mangel an Materialien keine scharfe Auswahl mehr zwischen edlen und unedlen Metallen getroffen werden konnte. So kam es in diesen Zeiten zur häufigen Verwendung von Zinn, Aluminium und ähnlichen unedlen Metallen, deren Eingliederung in den Mund eines Patienten heute als Kunstfehler gilt. Damit stellte sich dann in aller Deutlichkeit das Problem der elektrischen Ströme in der Mundhöhle dar und rief dazu auf, sich mit diesem Erscheinungsbild auseinanderzusetzen. Tatsächlich aber besteht die Frage nach dem Für und Wider elektrischer Ströme in der Mundhöhle bereits seit ungefähr 100 Jahren.

Die vorliegende Arbeit soll aufzeigen, ob und inwieweit die elektrischen Ströme der Mundhöhle auch heute noch praktische Bedeutung haben. Theoretische Meßergebnisse, sowie Krankheitsfälle aus der Literatur, Erfahrungen durch Patientenbefragung aus der eigenen Praxis mögen zum Verständnis verhelfen.

B. ALLGEMEINER TEIL

Zum Wesen elektrischer Ströme

I. Das bioelektrische Grundpotential

Aus der Physiologie (V) ist die Tatsache bekannt, daß jeder lebende Mensch, jedes lebende Tier und jede lebende Pflanze Spannungsquellen in sich trägt. Die lebendigen Teile des menschlichen, tierischen und pflanzlichen Körpers besitzen ebenso wie die Metalle, die man als Leiter erster Klasse bezeichnet, eine elektrostatische Doppelschicht, eine Potentialdifferenz. Die Elektroden werden dargestellt durch die Plasmamembranen der Zellen, vorausgesetzt, daß auf ihnen verschiedene Elektrolyte vorhanden sind. Dabei spielen die Permeabilitätsänderungen eine wichtige Rolle. Faktoren, die zu Permeabilitätsänderungen führen, rufen eine Änderung der Potentialdifferenzen hervor. Für den Menschen sind die normalen Potentiale nach Landois-Rosemann (III) des Muskels z.B. 40 - 80 mV, des markhaltigen Nerven

20 mV, des marklosen Nerven etwas mehr. Nach Köhler (8) sind die Phasengrenzpotentiale der Zahnhartsubstanzen demgegenüber wesentlich geringer. Die Pflanzen zeigen höhere Ruhepotentiale bis zu 200 mV auf. Die Oberflächen unverletzter, ruhender Fasern und Zellen weisen keine Potentialdifferenz auf. Nur zwischen der Oberfläche und dem Inneren, z.B. einer nicht erregten Nervenfaser (Ruhe- bzw. Verletzungspotential) besteht eine Potentialdifferenz, wobei sich das Innere negativ zur Oberfläche verhält (V). Ist die Faser oder Zelle jedoch erregt, so weist auch die Oberfläche eine Potentialdifferenz auf. Dabei verhält sich die erregte Stelle an der Oberfläche negativ gegenüber den unerregten Oberflächenpunkten (Aktionspotential). Das bioelektrische Potential ist der Ausdruck der Ionenkonzentrationsdifferenz. Je höher die Atmungs- und Wachstumsintensität der Zellen ist, desto größer sind die Potentiale. Nach Rebel (15) sind es für den Menschen und das Säugetier 110 mV. Damit ist keineswegs etwa festgelegt, daß höhere Potentialdifferenzen als krankhaft zu bezeichnen wären. Die bioelektrischen Potentiale sind langdauernde oder ständig vorhandene Spannungen. Kurzdauernde Potentiale des gesunden Menschen liegen aber um ein Vielfaches höher. In derselben Weise, wie diese Ströme im allgemeinen entstehen, treten sie auch speziell im Mund-, Zahn- und Kieferbereich auf. Nach Hurtig (5) ist die elektromotorische Kraft besonders groß zwischen den stoffwechselträgen Zähnen und den drüsigen Bestandteilen des Mundbodens wegen der erhöhten Salz- und Wasserbewegungen der drüsenhaltigen Gewebe.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß im menschlichen Organismus physiologisch eine dauernde Spannung von 110 mV herrscht und daß kurzdauernde Potentiale beim gesunden Menschen höher liegen. Daraus kann man ersehen, daß der Körper, selbst, wenn von zahnärztlicher Seite keine Metalle in die Mundhöhle gebracht werden, schon von sich aus Spannungen erzeugt und daß diese ein normales Attribut des Lebendigseins darstellen.

II. Das kurzgeschlossene Element

Wie ist nun das Erscheinungsbild der Potentiale, wenn Metalle in der Mundhöhle sind? Es ist vor auszuschicken, daß jedes Metall nach Westphal (VII) auf Grund seiner Lösungstension in allen wässrigen Lösungen Ionen freisetzt. Hier hat der Lösungsdruck des Metalles eine für eben dieses Metall charakteristische Größe, die durch das Bestreben seiner Atome gekennzeichnet ist, in den elektrisch geladenen Zustand überzugehen. Diesem

Bestreben wirkt der osmotische Druck entgegen, den man als das Bestreben der Ionen ansehen kann, in den atomaren Zustand überzuwechseln. Beide Drucke sind demgemäß Antagonisten. Beide Druckarten sind bei den verschiedenen Metallen verschieden groß. Nach Falk-Weikart (2) ist bei den edleren Metallen der Lösungsdruck erheblich kleiner als der osmotische Druck ihrer Ionen, während hingegen bei den unedleren Metallen der Lösungsdruck größer ist als der osmotische Druck der Ionen. Von der Bilanz beider Größen ist in erster Annäherung das Potential eines Metalles in einem Elektrolyten abhängig.

Da nun der Speichel eine wässrige Lösung darstellt, die sich zudem ständig erneuert, gehen in ihm alle Metalle in Lösung. Nach Köhler (8) hängt es lediglich von der Feinheit der Untersuchungsmethoden ab, dies auch für Edelmetalle, wie Gold, Platin oder Palladiumlegierungen nachzuweisen. Die Lösungserscheinungen an Metallen werden als Korrosion bezeichnet. Man versteht unter Korrosion nach der Definition der deutschen Gesellschaft für Metallkunde einen nicht beabsichtigten, mit dem Gebrauch des Werkstoffes nicht notwendig verbundenen, von der Oberfläche ausgehenden Angriff chemischer oder elektro-chemischer Natur von Stoffen auf Metalle und Legierungen, der zu ihrer Zerstörung führt.

1. Das galvanische Element

Während zu chemischer Korrosion nach Stegemann (20) nur die Anwesenheit eines einzigen Metalles im Grund erforderlich ist, tritt eine elektrochemische Korrosion dann ein, wenn zwei verschiedene miteinander in Kontakt stehende Metalle in die als Elektrolytlösung wirkende Mundflüssigkeit eintauchen. Eine solche Kombination nennt man nach Westphal (VII) auch ein kurzgeschlossenes Element. In diesem fließt ständig ein mehr oder weniger starker Elektrodenstrom von dem unedleren Metall durch die metallische Verbindung (Kontaktstelle) zum edleren Metall. Dies hat zur Folge, daß sich das unedlere Metall unter Bildung von Metallionen, die in die Lösung hineindiffundieren, auflöst, während an dem edleren Metall diejenigen Kationen aus der Lösung entladen werden, die die geringste Entladungsarbeit erfordern. Diese Korrosionserscheinungen im Munde sind mit den Vorgängen vergleichbar, wie sie uns beim galvanischen Element entgegenreten. Nach Falk-Weikart (2) ist die Stromstärke eines solchen Elementes abhängig von dem elektro-chemischen Verhalten der Metalle zueinander. Je größer die Spannung zwischen den einzelnen Metallen ist, desto größer ist die elektromotorische Kraft. Auf Grund dieser Tatsache

hat man die Metalle in einer Spannungsreihe geordnet, deren Anfangsglied den größten und deren Endglied den geringsten Lösungsdruck besitzt. Jedes folgende ist dabei dem voranstehenden Metall gegenüber positiv elektrisch, und jedes in der Reihe voranstehende Metall hat die Eigentümlichkeit, das nachstehende aus seiner Lösung auszufällen. So wird z. B. durch metallisches Zinn oder Eisen Kupfer aus seiner Lösung in metallischer Form (Elektrolyt-Kupfer) ausgefällt.

Aufzeichnung der elektro-statischen Spannungsreihe für diejenigen Metalle, die als reine oder als Legierungsbestandteile in Frage kommen, nach Falk-Weikart (2).

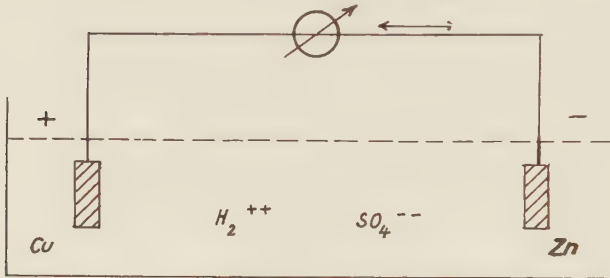
Element	Valenz	Volt	Element	Valenz	Volt
Kalium	1	-2,92	Zinn	2	-0,16
Calcium	2	-2,72	Blei	2	-0,13
Natrium	1	-2,71	Eisen	3	-0,04
Magnesium	2	-2,4	Wasserstoff	1	±0
Aluminium	3	-1,69	Kupfer	2	+0,34
Zink	2	-0,76	Kupfer	1	+0,52
Chrom	3	-0,51	Silber	1	+0,81
Eisen	2	-0,44	Palladium	2	+0,83
Cadmium	2	-0,4	Quecksilber	2	+0,86
Cobalt	2	-0,29	Gold	3	+1,36
Nickel	2	-0,25	Platin	2	+1,6

Nach dieser Tabelle besteht also die größte Potentialdifferenz zwischen Magnesium, bzw. Aluminium und Gold bzw. Platin, geringe zwischen Silber und Palladium oder Platin und Gold.

Metalle mit großem Lösungsdruck nach Falk-Weikart (2) können in dem Elektrolyten Speichel durch Korrosion gelöst werden. Legierungen aus nur unedlen Komponenten verhalten sich im allgemeinen ähnlich wie die reinen Metalle mit großer Lösungstension, für Legierungen aus Edelmetallen mit Nichtedelmetallen ist nicht nur ihr Mischungsverhältnis, sondern auch ihr Gefüge (Mischkristall, Eutektikum, Verbindung) und ihr Zustand (hartgewalzt oder weichegeglüht) maßgebend. Es kann darum aus dem Verhältnis der Komponenten zueinander und aus der Art dieser Ausgangsmaterialien entsprechend der Stellung in der Spannungsreihe nicht ohne weiteres auf ihre Korrosionsfestigkeit geschlossen werden. Gleiche Zusammen-

setzung vorausgesetzt, können sie das eine Mal bezüglich ihres Potentials edler, ein anderes Mal weniger edel sein.

Darstellung des galvanischen Elementes nach Grimsehl (II)



In der Versuchsanordnung herrscht zwischen der Zink- und Kupferplatte eine elektrische Spannung. Verbindet man die Platten durch einen Draht, so fließt ein Strom von Elektronen von Zink zum Kupfer. Das Kupfervitriol wird nach einiger Zeit verbraucht, sein Kupfer scheidet sich auf der Kupferplatte ab. Das Zink der Zinkplatte geht in Lösung.

2. Das Konzentrationselement

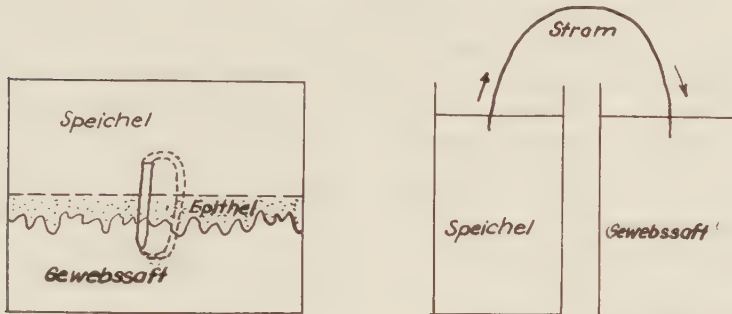
Nach Rheinwald (16) kann jede metallische Füllung im Zahn ein galvanisches Element bilden, das man jedoch besser als Konzentrationselement bezeichnet. Eine metallische Füllung steht mit zwei Elektrolyten, mit dem Speichel an der Oberfläche und mit der Gewebsflüssigkeit an der Dentinberührungsfläche in Verbindung. Dabei spielt die Gewebsflüssigkeit als Elektrolyt die untergeordnete Rolle.

1. weil der Widerstand der Dentschicht zwischen Füllung und Pulpa wesentlich größer ist, als der des Speichels,
2. weil jede Metallfüllung normalerweise mit einer Zementunterfüllung versehen wird, die wiederum einen hohen Widerstand hat.

Nach Untersuchungen von R.W. Philipps (14) spielt jedoch die Zementunterfüllung bei der Verminderung des in dem Zahn und durch die Pulpa fließenden Stromes eine geringe Rolle. Phosphatzement stellt in trockenem Zustand einen guten Isolator dar. Durch Feuchtigkeitsaufnahme

vom Füllungsrand her oder aus dem Dentinliquor kann diese Eigenschaft aber verloren gehen. Versuche mit radioaktiven Isotopen von W.H. Crowder ergaben eindeutig bei allen Füllungsstoffen eine Spaltbildung am Füllungsrand. Auch wenn diese Sickerstellen äußerst fein sind, lassen sie den Stromfluß zu. Nach den Untersuchungsergebnissen dieser Autoren läßt sich die Metallfüllung nicht vom Zahn isolieren.

Darstellung des Konzentrationselementes nach Köhler (8)



Auf dem linken Bild ein nicht korrosionsfester Metallstift, der mit dem oberen Anteil von Gewebssaft umspült wird; zwei verschiedene Elektrolyte. Rechts: das Prinzip des Stromflusses schematisch als Laboratoriumsbeispiel.

3. Das Lokalelement

Eine andere Möglichkeit der Strombildung ist durch die Entstehung von Lokalelementen gegeben. Befinden sich nach Westphal (VII) in einem Metall kleine Einschlüsse eines anderen Metalles, so besteht zwischen den verschiedenen Bestandteilen eine Polarisationsspannung. Sie bilden miteinander und mit der Säure winzig kleine kurzgeschlossene Elemente, sogenannte Lokalströme. Auch eine Legierung der gleichen Zusammensetzung, aber mit inhomogenen Mischkristallen, ist nicht resistent, weil in ihr zwei Kristallarten verschiedener Konzentration oder ganz anderer Zusammensetzung vorhanden sind. Nach Falk-Weikart (2) kann selbst ein- und dasselbe Material, das in homogenem Zustand vorliegt, jedoch nicht die gleiche Gefügebildung zeigt, Korrosion hervorrufen. Das ist z.B. der Fall bei einer Verbindung zwischen einem kaltverformten und einem ausgeglühten

oder einem gegossenen Stück. Das verformte Werkstück hat ein unedleres Potential, und so bilden sich kurzgeschlossene Elemente mit dem seiner Zusammensetzung nach gleichartigen anderen Werkstoff. Dies ereignet sich auch nach Falk-Weikart (2), wenn infolge mangelhafter Rekristallisation Kristalle mit Gleitlinien und gut rekristallisierte Kristalle nebeneinander liegen.

Aus der Darstellung des galvanischen Elements, des Konzentrationselementes und des Lokalelementes muß gefolgert werden, daß bei kurzgeschlossenen Elementen in der Mundhöhle elektrische Ströme auftreten können. Diese Tatsache beruht auf physikalischen Erkenntnissen, d.h. nach Westphal (VII), stellt man eine äußere leitende Verbindung zwischen den Elektroden her, so fließt durch diese ein Strom von der Anode zur Kathode, und durch die Flüssigkeit von der Kathode zur Anode.

Dieser Strom befördert die positiven Metallionen von der Kathode weg zur Anode. Zum Ausgleich können nunmehr weitere Ionen des Kathodenmaterials in Lösung gehen, während an der Anode Ionen des Kathodenmaterials abgeschieden werden. Der Strom fließt solange, bis entweder die Kathode vollständig in Lösung gegangen ist, oder bis sich die Anode vollständig mit dem Material der Kathode bedeckt hat, sodaß die Verschiedenheit der Elektroden beseitigt ist. Das galvanische Element, das Konzentrationselement und das Lokalelement zeigen diese äußere leitende Verbindung, sie sind geschlossene Elemente, und demnach bewirken sie einen Stromfluß.

III. Das offene Element

Besteht zwischen zwei Metallen im Munde keine metallische Verbindung, d.h. stehen die Metalle in keiner Berührung miteinander, so handelt es sich um ein offenes Element. Da bei einem offenen Element kein Strom fließen kann, tritt auch keine elektro-chemische Korrosion ein. Nach Köhler (8) kann man hier nur von "Korrosion" im engeren Sinne sprechen, nämlich Angreifbarkeit von Metall-Legierungen durch Elektrolyten. Hier werden also keine stofflichen Teile abgegeben und es spalten sich keine Ionen ab. Der Physiker Knappwost (7) hat das einmal folgendermaßen ausgedrückt: "Metallkombinationen, bei denen Potentialdifferenzen gemessen werden, sind ungefährlich, weil die Metalle in keiner Berührung miteinander stehen. Dort aber, wo das Meßinstrument keinen Ausschlag geben kann, weil ein Strom zwischen den sich berührenden verschiedenen Metallen fließt, dort sind die Gefahren." Potentialdifferenzen können

sich im Munde bilden, wenn zwei Füllungen verschiedener Metalle, z. B. Gold - Amalgam, und auch zwei gleiche Metalle Gold - Gold vorhanden sind. Rebel (15) sagt dazu: "Während früher das Elektrolyseprodukt, z. B. Quecksilber, Kupfer und andere eine Rolle in der Zahnheilkunde gespielt hat, sind es neuerdings die Potentialdifferenzen und die angeblich vorhandenen elektrischen Ströme in der Mundhöhle selbst, die als verderblich angesehen werden." Da es sich aber hier um nichtgeschlossene Elemente handelt, bestehen nur die Potentialdifferenzen, die allein wirksam werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß bei offenen Elementen in der Mundhöhle Potentialdifferenzen entstehen. Physikalisch formuliert heißt das nach Westphal (VII): Sind in einer Flüssigkeit zwei Metallelektroden mit verschieden beschaffenen Grenzflächen - sei es, daß das Material der Elektroden oder die Art der Flüssigkeit, oder beides verschieden ist - so sind diese Potentialströme verschieden groß. Beträgt der eine U_1 , der zweite $U_1 < U_2$, so ist die zweite Elektrode gegenüber der ersten auf positiver Spannung. Sie wird zur Anode, die erste Elektrode zur Kathode der als Stromquelle betrachteten Zelle. Diese besitzt demnach in offenem Zustand eine Spannung U_1 minus U_2 zwischen den Elektroden und daher auch eine elektromotorische Kraft. $E = U_1 - U_2$. Diese stellt sich als Differenz zweier Potentialsprünge dar. Unter E versteht man eine Kraft, die Ladungsträger in Leitern in dauernder Bewegung zu halten vermag.

C. HAUPTTEIL

Für und Wider elektrischer Ströme

I. Meßergebnisse zwischen gleichen und verschiedenen Metallen in der Mundhöhle

G. Schmidberger (17) hat die Potentialdifferenzen mit dem "Galvanotest", Fabrikation Hermann Stähle, Stuttgart, in der Mundhöhle gemessen.

1. Meßergebnisse bei füllungsfreien Gebissen.

Das Maximum des bioelektrischen Potentials lag bei 300 mV, das Minimum bei 5 mV und der errechnete Mittelwert bei 76,78 mV. Es handelte sich um 41 Meßwerte bei 9 Fällen mit vollkommen füllungs-freien Zähnen.

2. Meßergebnisse bei Füllungen aus Goldlegierungen.

G. Schmidberger (17) konnte zeigen, daß Gußfüllungen, die aus der gleichen Goldlegierung und nach demselben Verfahren hergestellt wurden, erhebliche Potentialdifferenzen in der Mundhöhle aufwiesen. In einem Fall waren zwei Inlays in einer Gußmuffel gegossen und zusammen in die beiden unteren ersten Molaren eingesetzt worden. Auch hier war zwischen den zwei Füllungen eine Potentialdifferenz vorhanden. Hingegen ergaben Versuche in einer Petrischale mit Speichel als Elektrolyten mit zwei gleichen Goldelektroden keine Potentialdifferenz. Daraus geht hervor, daß wir im Munde keine einfachen galvanischen Elemente vor uns haben, sondern Ströme, die sich aus folgenden Komponenten zusammensetzen:

- a) aus dem bioelektrischen Grundpotential
- b) aus den galvanischen Elementen
- c) aus den konzentrationsabhängigen Elementen
- d) aus den Korrosionsströmen.

Die Messungen zwischen den Füllungen aus Goldlegierungen zeigten ein Maximum von 240 mV, ein Minimum von 15 mV und einen Mittelwert von 61,25 mV. Der hohe Wert des Maximums ist nach Schmidberger wahrscheinlich auf einen unter der Goldfüllung versteckten Amalgamrest zurückzuführen. Genaue Angaben hierüber fehlen. Dennoch be-

trägt die Differenz der elektromotorischen Kraft zwischen einem füllungs-freiem Gebiß und einem solchen, in dem Füllungen aus Goldlegierungen eingegliedert sind, nur 14,3 mV.

3. Meßergebnisse bei Füllungen aus einer Goldlegierung und Amalgam
Das Minimum der hierbei auftretenden Potentiale betrug 100 mV, das Maximum 360 mV und der Mittelwert 211,5 mV. Schmidberger nimmt an, daß die sehr hohen Potentialdifferenzen nur durch Kontaktstellung von Goldlegierung und Amalgam bedingt sein können. Es soll zwar vermieden werden, Kronen oder Inlays aus Goldlegierungen mit Amalgamfüllungen in Berührung zu bringen, doch zeigt meine eigene Erfahrung aus der Praxis, daß Amalgamfüllungen oft unter Kronen bedenkenlos zurückgelassen werden. Auf Grund der Spannungsreihe, in der die Ausgangskomponenten dieser Materialien dicht nebeneinander stehen, können theoretisch diese hohen Messungen nicht erreicht werden.

4. Meßergebnisse bei Füllungen aus Amalgam.
Die größte elektromotorische Kraft zwischen Amalgamfüllungen lag nach Schmidberger bei 560 mV, das Minimum bei 20 mV, der Durchschnittswert bei 169,83 mV. Dieser Wert liegt um 123 mV über dem Grundpotential. Die hohen Werte sind auf schlechte Verarbeitung, falsche Dosierung im Verhältnis Quecksilber und Zinn - Silber zurückzuführen. Außerdem liegen die Potentiale während der Erhärtungsphase höher als nach Abschluß der Kristallbildung.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß sowohl zwischen gleichen als auch zwischen verschiedenen Metallen in der Mundhöhle elektromotorische Kräfte auftreten. Der Mittelwert liegt für

das bioelektrische Element bei 46,78 mV
Füllungen aus Goldlegierungen bei 61,25 mV
Füllungen aus Goldlegierung und Amalgam bei 211,5 mV
Füllungen aus Amalgam bei 169,83 mV.

II. Forderungen, die an die Auswahl und den kristallinen Aufbau von Dentalmetallen und Legierungen zu stellen sind

Die oben erwähnten Meßergebnisse von Schmidberger (17) zeigen, daß elektrische Ströme durch Metalle und Legierungen in der Mundhöhle hervorgerufen werden. Die Messungen sind aber nur bei Materialien wie Gold und

Amalgam angestellt worden. Daneben gibt es andere Legierungen, wie z.B. die Silber - Palladiumlegierungen oder die Kupfer - Aluminiumlegierungen, die ebenfalls in der Mundhöhle zu Füllungen, Kronen usw. verarbeitet werden. Wie sieht es nun allgemein mit der chemischen Angreifbarkeit der Dentallegierungen aus?

Falk-Weikart (2) schreibt zu dieser Frage: Die chemische Widerstandskraft ist von der Art der zur Legierung zusammentretenden Metalle abhängig, ebenso spielt das Mischungsverhältnis eine große Rolle. Die Grenze zwischen den resistenten und angreifbaren Goldlegierungen, die 70 % Gold enthalten, liegt etwa bei 12 % Kupfer und 18 % Silber, und die Resistenz steigt mit fallendem Kupfer bei gleichzeitig wachsenden Silber-Anteil. Es sind also nur diejenigen Goldlegierungen korrosionsfest, die nach ihrem Mischungsverhältnis in das Gebiet der resistenten goldhaltigen Werkstoffe gehören und die hinsichtlich ihrer Struktur einheitlich homogene Mischkristalle aufweisen, d.h. die Legierung besteht aus einem Kristallverband, deren Komponenten sowohl im flüssigen wie im festen Zustand vollkommen ineinander löslich sind. Intermetallische Verbindungen in Form der "Fremdkörper", also submikroskopische Einlagerungen im Mischkristall, beeinträchtigen nach Falk-Weikart (2) die Korrosionsbeständigkeit nicht. Dagegen sind Schichtkristalle, d.h. inhomogenes Gefüge, das in seinen einzelnen Schichten verschiedene Konzentration aufweist, auch in einer an sich korrosionssicheren Legierung angreifbar. Danach sind Goldlegierungen, wenn die Voraussetzungen und Bedingungen für die Widerstandsfähigkeit gegeben sind, zu zahnärztlichen Zwecken verwendbar. Es soll deshalb im folgenden das Verhalten derjenigen Legierungen auf ihre Korrosionsbeständigkeit geprüft werden, die als Goldspar- oder auch Goldersatzlegierungen bezeichnet werden. Für die Korrosionsfestigkeit der Stähle kommt es darauf an, die Umwandlung der homogenen Mischkristalle beim Abschrecken zu verhindern. Dies ist bei reinen Eisen-Kohlenstoff-Legierungen nicht möglich. Erst durch den Zusatz anderer Metalle wie Nickel und Mangan gelingt es, ein Gefüge zu erhalten, das nach dem englischen Forscher Austin "Austenit" genannt wird. Nach der Definition von Falk-Weikart (2) ist der Austenit eine weiche, unmagnetische, homogene Lösung von Kohlenstoff in dem flächenzentrierten 14-Punktgitter des Eisens. Die Gußlegierungen (Kobalt - Chrom - Legierungen) sind vollkommen korrosionsfest und neigen auch nicht zu Verfärbungen im Munde. Sie besitzen austenitisches Gefüge. Es bliebe noch die Korrosionsfestigkeit der Silberlegierungen und der kupferreichen Nichtedelmetalllegierungen zu diskutieren. Die Silber - Palladium - Legierungen vermögen eine lückenlose Reihe von Mischkristallen zu bilden,

sie sind also infolge ihrer Struktur den Goldlegierungen gleichzusetzen. Außerdem liegen die wesentlichen Komponenten Silber und Palladium in der Spannungsreihe fast unmittelbar nebeneinander. Sie weisen jedenfalls keine größere Potentialdifferenz auf wie Silber und Gold oder Gold und Platin. So kann man daraus schon schließen, daß sie korrosionsbeständig sind. Nach Falk - Weikart (2) bestätigen die Erfahrungen der Praxis diese theoretischen Überlegungen. Potentialprüfungen zwischen Gold - und Silber - Palladium - Legierungen haben ergeben, daß sie ohne weiteres in demselben Mund verarbeitet werden können, sei es in unmittelbarer Verbindung miteinander, oder an verschiedenen Stellen des Mundes. Dagegen sind die Silber - Zinn - Legierungen, ebenfalls wie die Kupfer - Zinn - Legierungen, leicht zersetzbar. Sie dürfen unter keinen Umständen für Arbeiten benutzt werden, die längere Zeit im Munde getragen werden. Sie sind zulässig in der kieferorthopädischen Behandlung, z.B. für eine schiefe Ebene, die nicht länger als 6 Wochen im Munde getragen werden soll. Von den Amalgamen ist das Kupferamalgam als Füllungsmaterial ohne Einschränkung abzulehnen, auch zur Modellherstellung ist es durch Modellzemente zu ersetzen. Werden dagegen Silber- oder Goldamalgame verwendet, dann muß die Dosierung richtig gewählt, die Mischung in einem geschlossenen Mischapparat vorgenommen und ein eventueller Quecksilber- oder Amalgamüberschuß entfernt werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß elektrische Ströme bei Elementen, die in der Spannungsreihe nebeneinander stehen, nicht in Erscheinung treten. So können Goldlegierungen, Edelstähle, Gußlegierungen und Silber-Palladiumlegierungen in ein und derselben Mundhöhle Verwendung finden.

Bei den Legierungen ist aber zu beachten, daß sie aus homogenen Mischkristallverbänden zusammengesetzt sind.

Es folgen nun zwei Tabellen, die 1. eine Aufstellung der in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Metalle und Legierungen und 2. deren Kombinationsmöglichkeiten in Bezug auf die sich ausbildenden Potentiale zeigen sollen.

III. Feststellungen über Potentialänderungen, die am kurzgeschlossenen Element, in Bezug auf Stabilität und Verarbeitung der Dentallegierungen und auf der wechselnden Zusammensetzung des Speichels, gemacht wurden

Zwei miteinander in Kontakt stehende Metalle, die in die als Elektrolytlösung wirkende Mundflüssigkeit eintauchen, nennt man ein kurzgeschlossenes Element. In diesem fließt ständig ein mehr oder weniger starker Elektrodenstrom von dem unedleren Metall durch die metallische Verbindung (Kontaktstelle) zum edleren Metall. Dieser Strom läßt eine elektrochemische Korrosion eintreten. Um ein Maß für die zu erwartende Korrosion zu erhalten, wurde versucht, die Stärke dieses Stromflusses zu messen. Da in einem kurzgeschlossenen Element weder die Potentialdifferenz (Spannung) noch der elektrische Stromfluß (Stromstärke) direkt gemessen werden können, ist es zur Durchführung einer Messung nach Stegemann (20) erforderlich, das Element zu öffnen, d.h. die metallische Verbindung zu lösen. Zur Bestimmung der Stärke des Stromflusses muß dann das jetzt offene Element über ein empfindliches Ampèremeter kurzgeschlossen werden. Bei der Ausführung derartiger Messungen an Dentallegierungen hat Stegemann (20) jedoch feststellen müssen, daß sich kein gleichbleibender Wert einstellt, weil die Stromstärke mehr oder weniger rasch gegen Null abfällt. Grund ist, daß durch die Stromentnahme bei der Messung von der unedleren Elektrode schneller Elektronen abfließen, als sie nachgeliefert werden können, wodurch das Element zusammenbricht. Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse bei Potentialmessungen, da bei einer exakt durchgeführten Spannungsmessung an einem offenen Element diesem durch den Meßvorgang kein Strom entnommen wird. Deshalb liefern einwandfreie Potentialmessungen reproduzierbare Werte. Man kann mit ihnen zwar keine quantitativen Feststellungen über die Stärke einer eintretenden Korrosion am kurzgeschlossenen Element treffen, jedoch ist es möglich, aus den Ergebnissen einer Reihe von Potentialmessungen, die unter den verschiedensten Bedingungen am offenen bzw. zeitweilig geschlossenen und dann wieder geöffneten Element durchgeführt werden, darüber auszusagen, ob mit einer nennenswerten Korrosion zu rechnen ist oder nicht. Für die Stärke einer eintretenden Korrosion ist der im kurzgeschlossenen Element fließende Strom maßgeblich, wobei wiederum die Dauer dieses Stromflusses von der

----- Tabellarische Zusammenstellung -----

von in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Metallen und Legierungen,
in Bezug auf ihre sich bildenden Potentiale, nach Falk-Weikart und Degussa

Metalle und Legierungen	Beschwerden		Ursachen		Abhilfe
	Theoretisch	Praktisch	Theoretisch	Praktisch	
Goldlegierungen					
Karatgolde (Gold-Silber-Kupfer)	keine	keine	keine	keine	keine
Platingolde (Degulor A, B, K, S, i.) (Duallor K)	keine	keine	keine	keine	keine
Silberlegierungen					
Silber-Palladium (Pallag, Wego)	keine	keine	keine	keine	keine
Silber-Zinn (Silca, Duragin, Aga Spargo, Aurosil)	vorhanden	vorhanden	Zinn-Gehalt	Zinn-Gehalt	entfernen
Edelstahllegierungen					
V ₂ A-Stahl (Wipla)	keine	keine	keine	keine	keine
18/8 Chrom-Nickel-Stahl	keine	keine	keine	keine	keine
Gußlegierungen					
Chrom-Cobalt-Nickel (Wiptam)	keine	keine	keine	keine	keine
Chrom-Cobalt (Vitalium)	keine	keine	keine	keine	keine
Chrom-Cobalt (Vitalium)	keine	keine	keine	keine	keine

Kupfer-Aluminium Legierungen

Tombak über 80 % Kupfer

Messing über 50 % Kupfer

(Randolf, Kosmos, Wiegold)

Bronze (Kupfer-Zinn)

Neusilber (Alpaka, Alfenide)

Duraluminium

Silumin

Alutal

Hydronalium

Uralin (Reinstaluminium)

Amalgame

Silberamalgame

Kupferamalgame

vorhanden	vorhanden	vorhanden	entfernen
vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	entfernen
vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	entfernen
vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	entfernen
vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	entfernen
vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	entfernen
vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	entfernen
vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	entfernen

vorhanden

keine

Zusammensetzung, falsche Verarbeitung

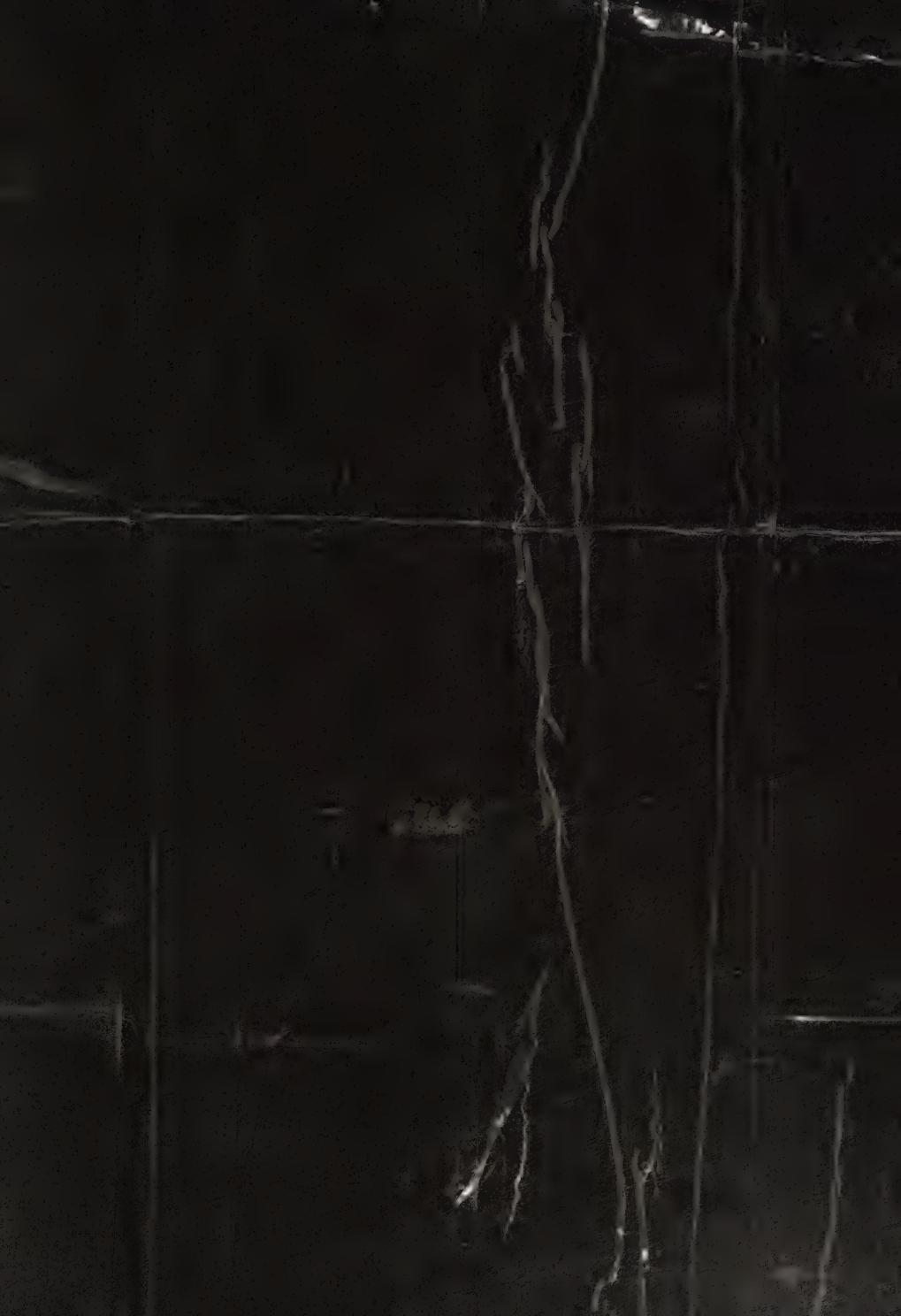
sachgemäße Verarbeitung

vorhanden

vorhanden

Kupfer-Metall

entfernen



Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen Legierungen
in Bezug auf ihre sich ausbildenden Potentiale

Legierungskombinationen	Beschwerden		Ursachen		Abhilfe
	theoretisch	praktisch	theoretisch	praktisch	
Gold - Gold	keine	keine	keine	keine	keine
Gold - Palliag	keine	keine	keine	keine	keine
Gold - Silca	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	korrodiert	Silca entfernen.
Gold - Edelstahl	keine	keine	keine	keine	keine
Gold - Gußlegierung	keine	keine	keine	keine	keine
Gold - Kupfer - Aluminiumleg.	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	korrodiert	entfernen
Gold - Silberamalgame	vorhanden	keine	Mischkristall	keine	keine
Gold - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Kupfer	korrodiert	entfernen
Palliag - Palliag	keine	keine	keine	keine	keine
Palliag - Silca	vorhanden	vorhanden	Silca	korrodiert	entfernen
Palliag - Edelstahl	keine	keine	keine	keine	keine
Palliag - Gußlegierung	keine	keine	keine	keine	keine
Palliag - Kupfer - Aluminiumleg.	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	korrodiert	entfernen
Palliag - Silberamalgame	vorhanden	keine	Mischkristall	keine	keine
Palliag - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Kupfer	korrodiert	entfernen
Silca - Silca	vorhanden	vorhanden	Silca	korrodiert	entfernen
Silca - Edelstahl	vorhanden	vorhanden	Silca	korrodiert	entfernen
Silca - Gußlegierung	vorhanden	vorhanden	Silca	korrodiert	entfernen

Silca - Silberamalgame	vorhanden	vorhanden	Silca	korrodiert	entfernen
Silca - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Silca	korrodiert	entfernen
Edelstahl - Edelstahl	keine	keine	keine	keine	keine
Edelstahl - Gußlegierung	keine	keine	keine	keine	keine
Edelstahl - Kupfer - Aluminiumleg.	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	korrodiert	entfernen
Edelstahl - Silberamalgame	vorhanden	keine	Mischkristall	keine	keine
Edelstahl - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Kupfer	korrodiert	entfernen
Gußlegierung - Gußlegierung	keine	keine	keine	keine	keine
Gußlegierung - Kupfer - Aluminium	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	korrodiert	entfernen
Gußlegierung - Silberamalgame	vorhanden	keine	Mischkristall	keine	keine
Gußlegierung - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Kupfer	korrodiert	entfernen
Kupfer-Aluminium - Kupfer-Aluminium	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetalle	korrodieren	entfernen
Kupfer-Aluminium - Silberamalgame	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall	korrodiert	entfernen
Kupfer-Aluminium - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Ersatzmetall Kupfer	korrodieren	entfernen
Silberamalgame - Silberamalgame	vorhanden	keine	Mischkristalle	keine	keine
Silberamalgame - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Kupfer	korrodiert	entfernen
Kupferamalgame - Kupferamalgame	vorhanden	vorhanden	Kupfer	korrodieren	entfernen

Stabilität derartiger aus Edelmetallen gebildeten Elemente abhängig ist.

Um über die Stabilität auszusagen, hat Stegemann (20) bei einigen im Munde durchgeführten Versuchsreihen während der Messung beide Elektroden durch Aneinanderlegen kurzgeschlossen. Sofort nach dem Trennen der beiden Elektroden zeigte das Meßinstrument an, daß keine Potentialdifferenz besteht, d.h., das Element war zusammengebrochen, die elektrische Ladung war aufgehoben. Nach einigen Minuten setzte meist ein geringer Potentialanstieg ein, der jedoch in den meisten Fällen nicht über 10 mV hinausging. Erst nachdem die Elektroden einige Tage unter Wasser aufbewahrt wurden, zeigten sie wieder ihr ursprüngliches Potential. Hat Stegemann (20) jedoch den gleichen Versuch unter Verwendung einer Elektrode aus Randolfmetall und einer aus reinem Zinn wiederholt, so stellte sich zunächst ein Potential, das ungefähr gleich groß wie bei der Verwendung der Edelmetall-Elektroden war, ein. Dieses Element wurde während der im Munde durchgeführten Messung ebenfalls kurzgeschlossen und nach 5 Minuten wieder geöffnet. In den ersten Sekunden nach dem Öffnen zeigte das Instrument das Potential Null an, d.h., auch dieses Element war bei direktem Kurzschluß zunächst einmal zusammengebrochen. Nach einer Minute jedoch bildete sich bereits eine geringe Potentialdifferenz aus, die stetig anstieg, bis der ursprüngliche Wert meist nach 5 bis 15 Minuten wieder erreicht wurde. Es ist sogar vorgekommen, daß nach dem Kurzschließen und Öffnen des Elementes sich nach einiger Zeit ein höheres Potential einstellte als zuvor. Hieraus ist zu erkennen, daß Randolfmetall und Zinn ein stabiles Element bilden, bei dem mit einem zwar geringen, jedoch ständigen Stromfluß zu rechnen ist. Man kann die beiden Elemente mit Taschenlampenbatterien vergleichen, von denen die eine fast verbraucht ist, während es sich bei der zweiten um eine neue Batterie handelt. Beide zeigen bei stromloser Messung fast das gleiche Potential. Die Stabilität des Elementes Randolf/Zinn steht zu der des Elementes 20 karätiges Gold/Silber-Palladium in einem ähnlichen Verhältnis wie die Leistungsfähigkeit einer neuen Taschenlampenbatterie nicht nur zu einer fast, sondern zu einer völlig verbrauchten Batterie. Das bedeutet, daß die Stabilität des Elementes 20 karätiges Gold/Silber-Palladium gering ist und die beiden Legierungen sich nicht gegenseitig aufzuladen oder Spannung zu erzeugen imstande sind. Um genaue Angaben über die Stabilität von Elementen machen zu können, die aus homogenen Edelmetallen gebildet werden, wurde eine Reihe von Elementkombinationen von Stegeman (20) derart untersucht, daß das sich einstellende Potential

messend verfolgt wurde, nachdem die beiden Elektroden zunächst 15 Sekunden nach Erreichung eines konstanten Potentials 24 Stunden kurzgeschlossen wurden.

Potentiale von drei verschiedenen Elementkombinationen.

Silber / Palladium - 20 karätiges Gold
 22 karätiges Gold - Platinhaltiges Gold
 Randolfmetall - Zinn

Tabelle nach Stegemann (20)

	<u>Pallag/833, 6</u>	<u>833, 6/Degulor</u>	<u>Randolf/Zinn</u>
Potential vor dem Kurzschließen			
	-44mV	+24mV	+95mV
Element kurzgeschlossen/nach 15 sec geöffnet			
0 min	0mV	0mV	0mV
1	- 4	+ 1	+12
5	- 8	+ 3	+68
10	-13	+ 5	+89
30	-17	+ 9	+94
1 Std	-30	+13	+97
10	-42	+19	+100
24	-47	+21	+98
Element kurzgeschlossen/nach 24 Std geöffnet			
0 min	0mV	0mV	0mV
1	+ 1	0	+ 6
5	0	0	+55
10	- 2	- 1	+82
30	- 2	- 3	+96
1 Std	- 4	0	+94
10	- 7	+ 2	+91
24	- 8	+ 4	+98

Das Potential bezieht sich stets auf die unterstrichenen Elektroden, negatives Vorzeichen bedeutet, daß die unterstrichene Elektrode die unedlere ist. Elektrolyt: 0,1 %ige Alkaliphosphatlösung, pH Wert 6,7.

Aus den Potentialmessungen, die an Elementen von Stegemann (20) durchgeführt wurden, welche aus zwei verschiedenen Edelmetallelegierungen bestanden und längere Zeit kurzgeschlossen waren, zeigte sich nach dem Öffnen, daß sich nur langsam wieder eine geringe Potentialdifferenz wieder herausbildete. Aus diesen Messungen kann gefolgert werden, daß es statthaft ist, zwei verschiedene Edelmetallelegierungen bei der Herstellung von Zahnersatz zu kombinieren, vorausgesetzt, daß das Werkstück nach seiner Fertigstellung durch und durch homogen ist. So können z. B. bei einer Brücke der vordere sichtbare Brückenanker aus einer Goldlegierung bestehen und die dahinter liegenden weniger sichtbaren Brückenteile aus einer Silber - Palladiumlegierung angefertigt werden. Jedoch ist bei der Herstellung einer derartigen Brücke zu fordern, daß vor dem Verlöten die Einzelteile vorschriftsmäßig homogenisiert werden. Treten an Arbeiten aus Edelmetallen Korrosionserscheinungen auf, so beruht dies oft auf einer zum Teil nicht unerheblichen Inhomogenität. Untersuchungen an inhomogenen Stücken aus Edelmetallen liefern nach Stegemann (20) Meßergebnisse, wie sie am Element Randolfmetall / Zinn erhalten werden. Dazu ist ein Beispiel aus der Praxis von Köhler (8) zu erwähnen. Zwei in Kontakt stehende Goldkronen zeigten am Kronenring ein mattes Aussehen. Beide Kronen wurden durch Zellophanstreifen interdental getrennt, dadurch konnte das Potential gemessen werden. Hierbei fand sich bei drei aufeinanderfolgenden Messungen, daß das Potential innerhalb von 8 - 10 Minuten von Null auf ungefähr 50 mV angestiegen war, wenn der metallische Kontakt unterbrochen wurde. Daraus ist ersichtlich, daß diese beiden Goldkronen stabile Elemente bilden können, bei denen mit einem zwar geringen, doch ständigem Stromfluß zu rechnen ist. Das beruht nicht auf der metallurgischen Zusammensetzung, sondern hat seinen Grund in der Bearbeitung.

Nach Stegemann (20) werden durch mechanische Verformung die Edelmetallelegierungen unedler, und zwar bei Biegungen bis zu 50 mV und bei Zerschneiden bis zu 150 mV. Bei geringfügiger Verformung gleichen sich diese Potentialdifferenzen innerhalb von 24 Stunden vollständig aus, dagegen können, vor allem bei starker Verformung bis zum völligen Ausgleich, Tage vergehen. Daraus folgt, daß z. B. beim Biegen einer Klammer aus Edelmetall keine stabilen Lokalelemente, die zu Korrosionsschäden führen können, gebildet werden. Auch durch Ausglühen wurden die Edelmetalle um 50 bis 150 mV unedler. Wurden jedoch die Legierungen nach erfolgtem Glühen und Abbiegen noch geschmirgelt und poliert, so erfolgte stets ein starker Potentialabfall, der bis zu 150 mV betrug. Das Ausgangspotential wurde wieder erreicht.

Auch die wechselnde Zusammensetzung des Speichels bewirkt Änderungen der Potentiale. Speichel ist als schwacher Elektrolyt anzusehen. Seine chemische Wirksamkeit auf Edelmetalle wird durch Eiweiß (aus den serösen Drüsen), Mucin (aus den mucösen Drüsen) und durch Natrium in dem Sinne beeinflusst, daß sie die elektrolytische Wirksamkeit des Speichels herabsetzen. Sie sind nach Köhler (8) Spannungsdepressoren, ähnlich wie der Zusatz von gelöstem Agar-Agar, Gelatine, Gummiarabicum, die Leitfähigkeit von Salzlösungen herabmindert. Die Spültätigkeit des Speichels ist jedoch ohne Einfluß auf die Polarisationserscheinung, die sich immer dann zeigt, nach Westphal (V), wenn die Grenzflächen zwischen Elektrode und Flüssigkeit an den beiden Elektroden eine verschiedene Beschaffenheit haben. Diese Polarisationserscheinungen, die erst dann auftreten, wenn die fließenden Ströme ein gewisses Ausmaß erreicht haben, führen ebenfalls zum Absinken der Potentialdifferenz an Metallelektroden im Munde.

Es bliebe jetzt noch zu diskutieren, welchen Einfluß Luft und Kohlendioxyd auf die Potentiale ausüben. Nach Stegemann (20) bewirken Luft bzw. Kohlendioxyd (Tabakrauch) verhältnismäßig große Potentialänderungen in dem Sinne, daß die Edelmetalle bei Belüftung von 20 - 30 mV, bei Umspülung mit Kohlendioxyd um 50 - 100 mV stabiler d.h. unedler werden. Wird nach einer Umspülung mit Kohlendioxyd erneut Luft durch die Lösung geleitet, so erfolgt ein Potentialabfall um 20 - 30 mV. Nach dem Abschalten des Gasstromes tritt stets ein geringer Potentialabfall von 5 - 10 mV ein. Aus Versuchen von Köhler (8) sieht man, daß die Edelmetalllegierungen wie auch die reinen Metalle bei Umspülung mit Luft und Kohlendioxyd kein beständiges stabiles Element ausbilden.

Zusammenfassend ist zu sagen: Werden zwei verschiedene Legierungen zu einem Element kombiniert, so bricht das Potential augenblicklich zusammen und richtet sich, wenn die beiden Edelmetalle homogen sind, nicht wieder auf. Auf diesen innerlichen Ausgleich, der sich durch Umlagerung der Moleküle vollzieht, ist es wahrscheinlich zurückzuführen, daß bei neu eingegliederten Metallarbeiten gelegentlich vorübergehendes Brennen des Zahnfleisches und Metallgeschmack auftreten. Wenn alle bei der Herstellung gebildeten Elemente sich ausgeglichen haben, tritt eine Beruhigung ein. Die Beschwerden hören nach einigen Tagen auf. Stabile Elemente sind bei Edelmetalllegierungen nur dann zu erwarten, wenn entweder diese durch den Bearbeitungsprozeß inhomogen geworden sind, oder wenn sich echte Belüftungselemente ausbilden können. Dies trifft dort zu, wo das

Metall teilweise von einem anderen Material wie Kunststoff oder Porzellan bedeckt ist, da hier die Möglichkeit gegeben ist, daß sich zwischen dem Metall und dem anderen Material ein enger Spalt gebildet hat. Dies ist z.B. bei einpolimerisierten Klammern, wie bei Facetten aus Kunststoff, die in eine Rückenplatte aus Edelmetall eingesetzt sind, der Fall. Als Folge der Ausbildung eines Belüftungselementes nach Stegemann (20) kann sich durch einsetzende Korrosion das Edelmetall verfärben. Dies wiederum hat zur Folge, daß die Facette einen etwas dunkleren Farbton annimmt.

IV. Kritische Betrachtungen über Messungen elektrischer Potentiale im Munde

Schon seit Jahrzehnten ist beobachtet worden, daß die im Munde auftretenden Potentialdifferenzen Krankheitserscheinungen auszulösen vermögen. Hierbei ist nach Köhler (8) kritisch herauszustellen, daß elektrolytische Noxen in einem enorm kleinen Prozentsatz in solchen Mundhöhlen nachzuweisen sind, die bei Probemessungen sehr hohe Potentialdifferenzen (300 bis 400 mV) aufweisen. Wie aber ist das zu erklären? Ist die Spannungsverträglichkeit subjektiv so unterschiedlich, oder sind die Messungen kein exaktes Kriterium für die möglichen Noxen?

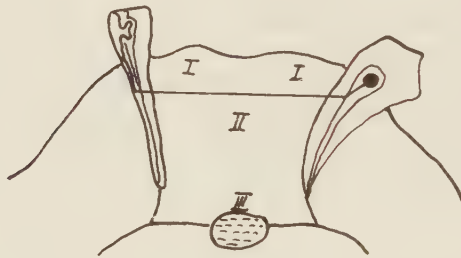
Köhler (8) sagt, daß die im Munde gemessenen Potentialdifferenzen nur sehr bedingt ein Maß für etwa auftretende Schäden sind. Der menschliche Organismus vermag innerhalb beträchtlicher Grenzen Reize aller Art zu kompensieren, besonders dann, wenn es zu einer allmählichen Gewöhnung an die betreffende Reizqualität kommt. Ohne Schädigungen werden hohe - allerdings kurzzeitig - Aufladungen vertragen. Beim Kämmen der Haare z.B. kann es zu elektrostatischen Aufladungen von vielen tausend Volt kommen, Krepptohlen ergaben je nach der Laufgeschwindigkeit Aufladungen von etwa 8000 Volt nach Falk-Weikart (2).

Heutzutage werden bereits Kleinkinder durch gelegte Füllungen an Potentialreize im Munde gewöhnt und somit weitgehend trainiert, dem ist aber durch exakte Meßmethoden schwer beizukommen.

Modellversuche von Köhler (8) zwingen zu der Annahme, daß die oralen Ströme sich aus Stromzweigen zusammensetzen, die teils parallel, teils hintereinander geschaltet sind. Man stelle sich ein Kiefermodell vor, in dem jeweils nur ein Caninus und ein mittlerer Incisivus stehen. Beide Zähne seien vital. Der Incisivus habe palatinal ein Goldinlay,

das direkt cervikal mit der feuchten Gingiva in Kontakt stehe. Der Caninus trage palatinal eine Amalgamfüllung, die nicht die Gingiva berührt. Dieser hier erwähnte Fall betrifft eine tatsächliche Situation, bei der die Spannungsmessung 45 mV ergab.

Wie kommt in einem solchen Fall diese Potentialdifferenz zustande? Wie fließt der Strom? Wieso ist hier ein galvanisches Element gebildet? Das Goldinlay taucht in den Elektrolyten ein, es berührt die speichelbenetzte Gingiva. Die Amalgamfüllung aber steht in keinem Speichelsee, sondern ist durch den intakten Schmelz von dem "See" der freien Mundhöhle isoliert.



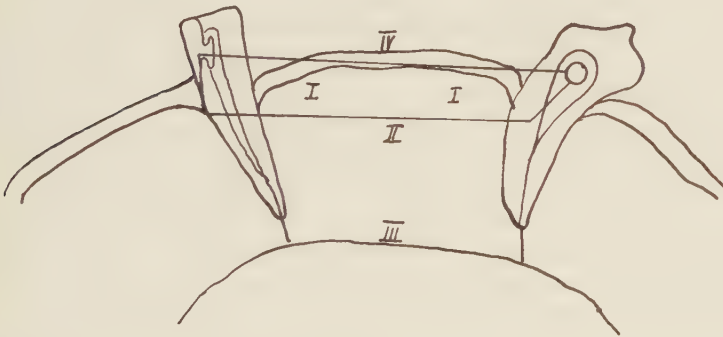
Nun haben Widerstandsmessungen an frisch extrahierten Zähnen hohe Widerstandswerte für das Dentin ergeben. Für einen Zentimeterwürfel hat Ehrenfeld 1927 nach Köhler (8) den Wert 2,1 kOhm gemessen. Mathis und Adler kommen zu Durchschnittswerten von 500 kOhm. Je nach der Richtung der Widerstandsmessung (parallel oder senkrecht zu den Dentinkanälen) änderten sich die Meßergebnisse. Das Dentin selbst ist also hochohmig und ähnelt einem Halbleiter.

Die gemessene Potentialdifferenz von 45 mV ist demgemäß als resultierende Spannung mehrerer zugeordneter Stromzweige aufzufassen.

1. Der Caninus ist auf dem Schmelz benetzt, dieser Feuchtigkeitsfilm schließt die galvanische Kette zum Goldinlay. Es fließt ein schleimhautgetragener Strom.
2. Das Dentin, in dem die Amalgamfüllung verankert ist, gibt durch seinen organischen Bestandteil einen Elektrolyten ab. Teils über die Gingiva, teils über die Wurzelhaut und den Knochen wird der Stromkreis zum Goldinlay geschlossen.

3. Der dritte mögliche Stromweg geht von der Amalgamfüllung über die Pulpa und das Gefäßsystem unter Einbeziehung der gefäßreichen Wurzelhaut zum Goldinlay. Von diesen gedachten Stromwegen läßt sich aus- sagen, daß 2. und 3. sicher keine rein elektrolytisch bedingte Pot- tentialdifferenz zugeordnet ist, hier spielen Konzentrations- und Diffusions- potentiale eine Rolle. Größenordnungsmäßig betrachtet ist zu erwarten, daß Stromzweig 1 überwiegt.

Wandelt man das Kiefermodell nun dahin ab, daß die Anordnung so bleibe wie vorher, nur mögen beide Zähne isoliert im Unterkiefer stehen derart, daß bei reichlichem Speichelfluß beide Füllungen im "Speichelsee" des Mundbodens teilweise untertauchen.



Auch diese Situation entspricht einem tatsächlich durchgemessenen Fall, wobei eine Potentialdifferenz von 70 mV gefunden wurde. Es ist zu be- achten, daß der größere Wert nur bedingt von der größeren Elektrolyt- menge abhängt, andere Gegebenheiten (pH - Wert, Viskosität) sind be- deutungsvoller. Was an diesem Modell gegenüber dem Oberkiefermodell verschieden ist, ist die Angleichung der Unterkiefersituation mit dem Speichelsee an ein "technisches galvanisches Element" nach Köhler (8). Hier kommt zu den drei bereits genannten noch ein vierter Stromzweig hinzu, der Weg im Elektrolyten selbst zwischen den beiden Elektroden: Goldinlay und Amalgamfüllung. Größenordnungsmäßig ist dieser Zweig 4 weitaus der größte, zudem trotz aller Vorbehalte, die der komplexen Natur des Speichels entspringen, noch der am besten definierte. Minde-

stens fallen hier Verfälschungen durch Zellaktionspotentiale und Übergangsveränderungen an den Zellgrenzflächen fort. Die Modellbetrachtung führt zu dem Ergebnis, daß die gemessenen Potentialdifferenzen keineswegs das Ergebnis eines Einzelsvorganges sind, etwa die resultierende Spannung aus elektrolytischen Umsetzungen an Metallelektroden und daraus hervorgehenden Strömen über einen Stromzweig mit annähernd konstantem Widerstand, sondern daß die auftretenden Potentialdifferenzen selbst aus einem Komplex von Einzelpotentialen bestehen. Die im Munde gemessene Spannung ist die arithmetische Summe mehrerer Einzelpotentiale.

So zeigt es sich, daß Messungen von Potentialdifferenzen allein keine exakte Prognose möglicher Noxen gestatten. Außer der Spannungsmessung ist entweder die Größe des Widerstandes zu messen, um aus beiden Werten die Größe der Stromstärke zu bestimmen, oder aber es ist anzustreben, die Stromstärke auf anderem Wege zu ermitteln, etwa durch kalorimetrische Messungen. Erst die Maßzahl des Effektes, Watt pro Zeit, ermöglicht es, die Größe der elektrischen Arbeitsleistung zu bestimmen und hieraus Parallelen zu ziehen zu möglichen Noxen. Die Frage nach der individuellen Spannungsverträglichkeit ist ebenso derart abzuändern, daß die Spannungsverträglichkeit zu dem elektrischen Effekt in Parallele gesetzt wird. Für den Fall, daß man eine definierbare Schädigung im Zusammenhang mit elektrolytisch zersetzten Reizstoffen vermutet, (etwa Kupfer oder Zinn bei der Korrosion von Randolf- oder Chrominbrücken) wäre die Größe Stromstärke multipliziert mit der Zeit maßgebend, nach Köhler. Die Bestimmbarkeit des elektrochemischen Äquivalents wäre nach erfolgter Analyse des Werkstoffes (Messing) gesichert.

Die Größenordnung der beim oralen Galvanismus möglichen Ströme ist durch ein Beispiel von Köhler (8) zu erklären: In einem ungepflegten Mund ergab eine Randolfbrücke im Unterkiefer gegen eine große Amalgamfüllung, die mit der Brücke nicht in direktem Kontakt steht, (es liegt also kein kurzgeschlossenes Element vor) eine stromlos gemessene Potentialdifferenz von 0,3 V. Da der resultierende Strom von den Brückenpfählern in die Gingiva und den Kiefer hinein und von da an dem amalgamgefüllten Zahn wiederhinauswandert, die angrenzende Gingiva also zweimal durchsetzt, wird der durch Versuche mitgeteilte Widerstandswert verdoppelt auf 2,8 kg Ohm. Dann wäre nach Köhler (8) Stromstärke = $0,3 : 2 \cdot 2800 = 0,0005$ Ampère. Hält der Stromfluß auch nur wenige Sekunden hindurch an, so bricht die Spannung zusammen, wenn nur die an sich so geringe Stromstärke von 0,5 mA fließt. Diese Rechnung gibt einen Anhalt dafür, wie winzig die tatsächlich stattfindenden elektro-chemischen Vorgänge in

Wahrheit sind, trotz der imponierend hohen Potentialdifferenz.

Zusammenfassend: Köhler (8) konnte feststellen, daß Messungen von Potentialdifferenzen allein keine exakte Prognose möglicher Noxen gestatten. Erst die Maßzahl des Effektes, Watt pro Zeit, ermöglicht es, die Größe der elektrischen Arbeitsleistung zu bestimmen und hieraus Parallelen zu möglichen Noxen zu ziehen. Danach richtet sich auch die Spannungsverträglichkeit. Sie wird zu dem elektrischen Effekt in Parallele gesetzt. Die Größenordnung, der beim oralen Galvanismus möglichen Ströme liegt bei 0,5 mA. Die Rechnung am Schluß dieses Abschnittes zeigt, daß die tatsächlich stattfindenden elektrochemischen Vorgänge sehr gering sind trotz der hohen Potentialdifferenzen.

V. Über Krankheitsveränderungen bei Anwesenheit von Metallen in der Mundhöhle

1. Allgemeine Fälle aus der Literatur

Möller (11), Öttl (12), Loebich (10), Rheinwald (16) u.a. berichten über Krankheitserscheinungen, bei denen nach ihrer Meinung Metalle in der Mundhöhle die Ursache waren. Sie führen sie auf die in Lösung gegangenen Schwermetallionen und auf elektrische Reizungen durch Potentialänderungen zurück.

Die Vergiftung durch Schwermetallionen lassen akute und subakute unterscheiden. Die akuten Intoxikationen zeigen die bekannten Symptome aller Schwermetallvergiftungen. Ein Haupterscheinungsmerkmal bei Vergiftungen durch unedle, kupferhaltige Legierungen, sowie durch Kupferacetat, Kupfersulfat und Grünspan sind die durch Metallverbindungen bedingten lokalen Ätzwirkungen, die zu Belägen und Verschorfungen auf der Gingiva und Zunge führen. Am häufigsten führen sie jedoch nach Möller (11) zu Schädigungen des Magen-Darmtraktes, der Leber und Nieren. Die subakuten Intoxikationen äußern sich mehr durch unbestimmte Erscheinungen wie Müdigkeit, nervöse Reizsymptome u. a. m. Öttl (12) berichtet in diesem Zusammenhang über einen eindrucksvollen Fall, bei dem die Vergiftungserscheinungen von einem Kupfer-Amalgam-Aufbau an dem rechten unteren ersten Molaren ausgingen. Auf dem Kupfer-Amalgam-Aufbau saß eine Krone, die nicht mit dem Zahnfleisch abschloß. Sie bildete ein Lokalelement mit hoher Korrosion. Eine Grünspannschicht bedeckte den Kronenring. Nach folgender Formel: $2 \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{Cu} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu} \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
Grünspan

Von diesem Grünspan gelangten kleine Mengen in den Magen, was zu Magenbeschwerden führte. Nach Entfernung der Krone und des Aufbaus verschwanden die Erscheinungen. Loebich (10) geht im besonderen auf den Kupfergehalt der Legierungen ein. Nach Loebich (10) kann nur eine kupferfreie Legierung, die bis zu ihrem Endprodukt homogen bleibt, korrosionsbeständig sein. Demnach müßte man z.B. alle 18 - 20 - 22 karätigen Golde, alle platinhaltigen weichen Golde, alle Klammerguß - golde, alle Platingolddrähte, Spargolde und alle Palladium - Silberlegierungen ausschalten. Zur Verwendung für zahnärztliche Zwecke bleiben Feingold, Reinplatin, Platiniridium, Silberlegierungen, Stahl und Crom - Cobalt Legierungen. Es wäre ein Irrtum, zu glauben, daß diese Metallauswahl metallbedingte Störungen zum Verschwinden brächte.

Die elektrischen Reizungen durch Potentialänderungen äußern sich nach Angaben von Leonhardt (9) und Pankiewicz (13) durch Brennen des Zahnfleisches, Schleimhautentzündungen, Ulcerationen und Anzeichen von Parodontose. Diese Krankheitsfälle waren sehr therapieresistent. Rheinwald (16) berichtet über eine 24 jährige Patientin mit seit 3 Jahren bestehender Gingivitis, welche stellenweise zur Atrophie des Zahnfleisches führte. Das Zahnfleisch wurde schwammig, geschwollen und blutete bei jeder Berührung. Örtliche zahnärztliche Maßnahmen, Injektionen von großen Dosen Vitamin C, konnten das Krankheitsbild nicht ändern. Im Blutbild wurde außer einer geringen Leukozytose keine Veränderung festgestellt. Die Inspektion der Mundhöhle zeigte einen goldüberkronten Zahn und Amalgamfüllungen. Diese wurden als verdächtig angesprochen. Die Patientin erklärte sich mit der Entfernung der Metalle einverstanden. Zunächst wurde die Amalgamfüllung beseitigt. Darauf geringe Besserung, bei Nachmessung bestanden an dem rechten unteren ersten Prämalaren noch erhebliche Spannungsdifferenzen. Nach Abnahme der Krone erschien ein Stumpf mit Amalgamfüllung, der mit der Goldkrone in Kontakt stand. Es handelte sich also um ein Element. Nach Beseitigung heilte die chronische Gingivitis binnen weniger Tage aus. Bei Nachuntersuchung ein halbes Jahr später wurde der Zustand als gleich gut befunden.

2. Fälle aus der Literatur unter besonderer Berücksichtigung von Goldprothesen

Bereits im vorigen Jahrhundert erwähnte Hill (6) das Auftreten galvanischer Ströme bei Anwesenheit von Gold im Munde. Er schilderte den Stromfluß, der durch Berührung des freien Endes einer Zinnfolie mit einer goldenen Zahnersatzplatte auftrat. Hurtig (5) berichtet von einer Patientin, die während des Essens ein plötzliches Flimmern vor den Augen und einen Blitzschein wahrnahm, wenn sie einen Blechlöffel in den Mund führte. Gleichzeitig hatte sie sauren Geschmack im Munde. Da sie eine Goldplatte trug, war anzunehmen, daß diese Symptome durch Berührung derselben mit dem unedlen Metall hervorgerufen wurden. Ein ähnlicher Fall wird aus der Praxis von Zahnarzt Salomon, nach Hurtig (5) beschrieben: Eine ältere Dame trug im Oberkiefer, in dem nur noch 2 mit Amalgam gefüllte Molaren standen, eine Goldplatte mit breiten Klammern um die Zähne. Sie klagte über Flimmern der Augen und sauren Geschmack im Munde. Wenn sie ohne Gebiß esse, wären diese Beschwerden nicht da. Auch hier sind elektro-chemische Ströme durch das Berühren der Goldklammer mit den Amalgamfüllungen zu vermuten. Lippmann nach Hurtig (5) bringt zu diesem Problem ebenfalls eine Krankengeschichte: Frau Sch., 62 Jahre alt, zahnlos, trägt im Oberkiefer eine Goldprothese, im Unterkiefer eine 40 g schwere reine Zinnprothese. Innerhalb eines Jahres stellten sich Kopfschmerzen, Hinfälligkeit, Zittern, Zungenbrennen, metallischer, später bitterer Geschmack, im Zungenrand Pigmentflecken ein. Als die Patientin keine Prothese trug, verschwanden alle Erscheinungen, um später beim Tragen der Prothese wieder aufzutreten. Nachdem das Zinngebiß durch Kautschuk ersetzt wurde, trat langsam Besserung ein. Die Goldplatte war stark oxydiert. Die frühere Zinnprothese zeigte einige poröse Stellen. Loebich (10) verfügt über folgende Krankengeschichte: Im Oberkiefer eines Patienten stehen zusammengelötete Goldkronen über 54/45. Die Kronen sind 20 Jahre alt. Nachdem eine Stahlplatte 76/67 mit Klammern um die beiden Goldkronen angefertigt wurde, trat eine Verfärbung bei /45 durch einen weißen Überzug auf. Der Patient hatte keine Amalgamfüllung, war nie mit Quecksilber in Berührung gekommen. Beim Sondieren einer kleinen Porosität an der buccalen Kronendeckelnahat trat eine schwarze Flüssigkeit heraus. Nach Loebich (10) ist dies die Folge einer Elektrolyse. Es bestand hier ein geschlossener Stromkreis, gebildet durch die Stahlplatte, Klammern mit niedrigeren Karatzahlen als das Kronengold, den Kronen und ihrer Lotnaht. Alle Metalle standen in Kontakt miteinander. Durch das saure Zement war die Flüssigkeit in der

Krone ein guter Elektrolyt. Der weiße Überzug entstand entweder durch das aus dem Lot der Deckelkronennaht gefällte Kadmium oder aus dem Kadmium des Lotes, mit dem die Klammern befestigt waren. Bei Allergikern kann dies allein schon zu schwersten Ekzemen führen.

3. Zwei eigene Fälle aus der Praxis

Frau Sch., 65 jährig, hat im Oberkiefer zwei Goldbrücken von 7-5/4-7, im Unterkiefer eine Silber-Palladiumkrone über 77 und ein Unterstück aus Palladon. Seit Monaten klagte die Patientin über Zungen- und Lippenbrennen. Die Brücken im Oberkiefer waren gelockert und die Kauflächen der Zähne stark abradiert, 65/ durchgebissen. Beide Goldbrücken wurden entfernt. Es stellte sich keine Besserung ein. Die Patientin wurde mit Verdacht auf perniciöse Anämie einer internistischen Untersuchung zugewiesen. Die Untersuchung war ohne Befund. Nachdem man auch die Silber-Palladiumkrone entfernt hatte, hörte das Brennen noch nicht auf. Später wurde eine Magenschleimhautentzündung und Überempfindlichkeit des Intestinaltrakts festgestellt. In diesem Fall läßt sich weder der schlechte Verarbeitungszustand der verschiedenen Metalle, noch die Erkrankung des Intestinaltrakts als alleiniger Übeltäter herausstellen. Eine Wechselwirkung zwischen den beiden Komponenten ist als sicher anzunehmen. Ein weiterer Fall begegnete mir in der 72 jährigen Frau St. Die Patientin hatte im Oberkiefer eine Stahlplatte und eine Goldkrone über 4/, im Unterkiefer zwei Goldbrücken 8-3/4-8 inkorporiert. Die Patientin gab an, daß sie ein Gefühl des Elektriziertwerdens hatte, wenn sie mit einer Küchengabel (Aluminium) die rechte untere Goldbrücke berührte. Bei der Untersuchung stellte sich heraus, daß diese Brücke von Lunkern durchsetzt war und die Farbe des gewöhnlichen Randolfmetalles aufwies. Nach Entfernung dieser Brücke trat das Symptom nicht mehr auf.

Die vorangehenden Krankengeschichten lassen erkennen, daß auch heute noch Krankheitsfälle vorkommen, die auf Potentialänderungen zwischen den verschiedenen Dentalmetallen beruhen. Die Ursachen dieser Störungen sind in der Mehrzahl der Fälle an den Metallen selbst, ihrer Verarbeitung und Homogenisierung zu suchen, sie können jedoch manchmal auch auf einen nur überempfindlichen oder bereits erkrankten Organismus zurückzuführen sein.

Es folgt nun eine Zusammenstellung der vorgenannten Autoren in Verbindung mit den angeführten Krankengeschichten.

Tabellarische Zusammenstellung
der vorstehend wiedergegebenen Schrifttumfälle
über Beschwerden durch Potentialdifferenzen

Autor	Beschwerden	Lokalisation	Ursachen
Möller (11)	vorhanden	Magen, Darm	Kupferhaltige Legierung
Öttl (12)	vorhanden	Magen, Darm	Kupferamalgamaufbau
Loebich (10)	vorhanden	Magen, Darm	Kupferhaltige Legierung
Leonhardt (9)	vorhanden	Mundhöhle	?
Pankiewicz (13)	vorhanden	Mundhöhle	?
Rheinwald (16)	vorhanden	Mundhöhle	Goldkrone auf Kupferamal- gam
Hill (6)	vorhanden	Mundhöhle	Zinnfolie - Goldersatz- platte
Hurtig (5)	vorhanden	Mundhöhle, Augen	Blechlöffel - Goldplatte
Salomon (nach 5)	vorhanden	Mundhöhle, Augen	Goldplatte - Amalgam- kontakt
Lippmann (nach 5)	vorhanden	Mundhöhle	Goldplatte - Zinnplatte

VI. Über die elektro-chemische Verträglichkeit von
Dentaledelstahl und Dentalmetallen in derselben
Mundhöhle

In den vorerwähnten Krankengeschichten sind verschiedene mögliche Kombinationen von Ersatzstücken aufgezählt worden, und zwar:

1. eine Goldplatte in Verbindung mit Metallegierungen,
2. eine Stahlplatte mit Metallegierungen,
3. eine Paladonplatte mit Metallegierungen.

In jedem dieser Fälle traten unliebsame Erscheinungen auf, die zu pathologischen Veränderungen führten. Also erhebt sich scheinbar mit Recht die Forderung, in einer Mundhöhle nur gleiche Metalle zu verwenden. Demnach müßte man auch dort eine Prothesenbasis aus Gold herstellen, wo schon Goldkronen im Munde vorhanden sind. Nach Sprengs (19) Untersuchungen ist die "ultima ratio" die Eingliederung von geprägten Goldplatten.

Spreng (19) sieht hinter dieser Forderung die Ausschaltung einer Prothesenstomatopathie, er spricht dabei nicht über die Beseitigung von Potentialänderungen. Die Verwendung von Kautschuk - oder Kunststoffplatten lehnt Spreng ab, weil sie selbst bei fachgemäßer Vulkanisierung bzw. Polymerisierung keine von Porositäten freie Oberfläche haben. Sie bilden somit nicht nur allerfeinste Schlupfwinkel für Speichel und Speise, sondern sind auch als "gute Isolatoren" als Wärmestauung anzusehen. Diese stomatopathiebegünstigenden Eigenschaften fallen bei einer Basisplatte aus kalt verformtem Gold weg.

Nach dem heutigen Stand der zahnärztlichen Materialkunde stehen jedoch nicht die Goldlegierungen, sondern die Edelstähle als Prothesenbasismaterial an erster Stelle. Die Verwendung des rostsicheren oder Edelstahl hat einen derartigen Umfang angenommen, daß man unter einer Metallprothese schlechthin eine solche aus Stahl fast verstehen kann. Die elektrochemische Verträglichkeit bleibt dennoch zu prüfen. Die Erfahrungen mit Stahlprothesen sind nach Falk-Weikart (2) zwiespältig. Falk-Weikart sieht den Grund, warum hier gute und dort schlechte Erfolge erzielt worden sind, in Strukturveränderungen des Stahles infolge ungünstiger Warmbehandlungen einerseits und in den verschiedenen Zuständen und Gefügeausbildungen der Edelmetallegierungen andererseits. Die Edelstähle, die etwa das Silberpotential aufweisen, verhalten sich wie die Edelmetalle, und die bei Verbindungen mit den üblichen Goldlegierungen oder anderen Edelmetallegierungen auftretende Potentialdifferenz ist zu gering, um die Korrosionswirkung hervorrufen zu können. Der passive Zustand, sowohl der Edelstahllegierungen wie der Gußlegierungen, war auch an den wärmebehandelten Stellen vollständig erhalten geblieben. Selbst nach dem Aktivieren in Königswasser zeigten alle Drähte mit Schweiß- bzw. Lötstellen bereits nach einigen Stunden passives Verhalten. Aus den Messungen von Stegemann (20) ist ersichtlich, daß weder durch Schweißungen noch durch Lötungen, so diese nach den in der Stahltechnik vorgeschriebenen Verfahren ausgeführt werden, das Gefüge der Legierung so nachhaltig zerstört wird, daß Korrosion einsetzt. Wird aber der Stahl zu lange den hohen Temperaturen beim Schweißen und Löten ausgesetzt, so verändert sich seine Struktur und Eigenschaft, d.h. er kann auch seine Rostsicherheit und sein Silberpotential verlieren. Bei Belüftung und beim Umspülen mit Kohlendioxyd zeigten alle untersuchten Dentaledelstähle ähnliche Potentialänderungen, wie sie bei den Edelmetallegierungen beobachtet wurden. Auch durch mechanische Verformung konnte das Potential des Edelstahles nicht nachteilig beeinflusst werden. Die vergleichenden Messungen von

Stegemann (20) an Dentaedelmetalllegierungen und Dentaedelstählen haben gezeigt, daß der Chemismus der Potentialeinstellung an beiden Legierungsklassen ein ähnlicher ist. Als Beispiel sind die Edelstähle, sind die Kobalt-Chrom-Guß- und Drahtlegierungen verwendet worden. Um die an den Edelstählen erhaltenen Meßergebnisse mit denen an den Metalllegierungen einwandfrei vergleichen zu können, wurde bei jeder Serie ein Klammerdraht aus Platingold (Deguflex) in die Zelle mit eingesetzt und ausgemessen. Die sich ausbildenden Potentiale sind sowohl bei den Metalllegierungen als auch bei den Edelstählen in nur untergeordnetem Maße von der Zusammensetzung der Legierung abhängig. Ausschlaggebend für den sich einstellenden Potentialwert ist der Zustand des Werkstückes. Werden Edelstähle nach den vorgeschriebenen Arbeitsverfahren behandelt, setzt sofort die Selbstpassivierung ein. Nach einigen Stunden, spätestens nach einigen Tagen, zeigt das fachgemäß bearbeitete Werkstück wieder das Potential des passiven Stahls. Man kann daraus folgern, daß die Verbindung Edelstahl und Gold zulässig ist.

Zusammenfassend muß man sagen, daß eine Forderung, Goldprothesen in einem Mund einzugliedern, in dem bereits Goldkronen vorhanden sind, zur Vermeidung von Potentialen theoretisch zu Recht besteht. Diese Forderung verliert jedoch ihre Überzeugungskraft, wenn der Beweis vorliegt, daß eine Prothesenbasis aus Edelstahl in Verbindung mit Arbeiten aus Dentaedelmetallen, fachmännische Verarbeitungstechnik vorausgesetzt, ebensowenig Potentiale hervorzubringen vermag wie Goldprothesen in Verbindung mit Goldarbeiten. Diesen Beweis hat Stegemann (20) meßtechnisch angetreten. Aus eigener Erfahrung in der täglichen Praxis kann ich sagen, daß niemals Beschwerden von Patienten vorgebracht wurden, die auf das Vorhandensein von Potentialen bei Anwesenheit einer Stahlprothese und Goldarbeiten in demselben Munde zurückzuführen sind. Heute ist die Stahlprothese nicht mehr aus der Praxis hinwegzudenken.

Zum Schluß dieser Kapitel möchte ich eigene Fälle zusammenstellen, die die Möglichkeiten der Verwendung verschiedener Metalle in der Mundhöhle zeigen und gleichzeitig die Antworten der Patienten auf Fragen über mögliche Beschwerden wiedergeben. Die Tabelle umfaßt 21 Fälle. Davon waren 19 beschwerdefrei. Bei diesen 19 Fällen hatte ich Metallkombinationen von Gold und Amalgam, Gold und Stahl, Gold - Stahl und Palliag vorgefunden. Selbst die Kombination Gold - Stahl - Amalgam und Palliag wurde symptomlos vertragen. In zwei Fällen waren Erscheinungen wie Lippen-

und Zungenbrennen und metallischer Geschmack vorhanden. Die Untersuchung zeigte, daß in dem 1. Fall Randolph und in dem 2. Fall Silca verarbeitet worden waren. Es handelt sich hier um Metalle, die nach den obigen Ausführungen nicht zu zahnärztlichen Zwecken Verwendung finden sollen.

D. DISKUSSION

Das Phänomen elektrischer Ströme in der Mundhöhle, hervorgerufen durch Metallarbeiten, wird schon über 100 Jahre beobachtet. Durch die Fortschritte im elektromedizinischen Gerätebau der letzten Jahre wurde es möglich, dieses Problem näher zu untersuchen und die Größenordnung der auftretenden Spannung genau zu ermitteln.

Elektrische Ströme treten im Organismus, z.B. in Muskeln und Nerven, rein physiologisch auf. Werden nun Metalle in der Mundhöhle zu konservierenden oder prothetischen Arbeiten verwendet, so können je nach der Art der einzelnen zu Dentalzwecken gebrauchten Metalle, ihrer Verarbeitung und Zusammenstellung entsprechend, erheblich höhere Potentiale entstehen. Wichtig ist ferner, nach Aussagen von Knapwost (7), ihre Lokalisation in der Mundhöhle selbst: Sind die verschiedenen Metallkombinationen nicht in Berührung miteinander, so werden wohl Potentialsprünge gemessen, die aber ungefährlich sind, weil kein Strom fließt und somit keine Ionen abgespaltet werden. Zeigt das Meßinstrument jedoch keinen Ausschlag, weil Strom zwischen den beiden sich berührenden Metallen fließt, so liegen dort die Gefahren für Korrosionen. Nach Stegemann (20) trifft das aber nur für solche Metallegierungen zu, die nicht homogen sind. Homogene Dentaledelmetallegierungen erhalten beim Kurzschließen das Potential Null und bleiben beim Stromöffnen dabei stehen. Selbst thermische Behandlung, mechanische Verformung und Umspülung mit Speichel, Luft und Kohlendioxyd vermögen bei Dentaledelmetallegierungen kein stabiles Element aufzubauen, bei dem mit einem ständigen Stromfluß zu rechnen wäre. Das selbe trifft auch für Dentaledelstähle zu. Bei Dentaledelmetallegierungen und bei Dentaledelstählen, sowohl einzeln als auch die beiden Legierungsgruppen in Verbindung miteinander, stellen sich ähnliche Potentialveränderungen ein, so daß Edelmetalle und Edeltähle in ein und derselben Mundhöhle nebeneinander eingegliedert werden können. Beide Legierungsgruppen erreichen beim Kurzschließen das Potential Null und beide richten sich

Tabellarische Zus

über die von mir untersuchten Patienten auf Potenti

Fall	Material	Lokalisation (Füllung)	Lokalisation (Prothese, Brücke)
1.	Füllungsfrei		
2.	Amalgam	$\begin{array}{c} 7 \mid 6 \\ \hline 6 \end{array}$	
3.	Amalgam	$\begin{array}{c} 7 \ 6 \mid 6 \ 7 \\ \hline 7 \ 6 \mid 6 \ 7 \end{array}$	
4.	Amalgam	$\begin{array}{c} \hline 7 \end{array}$	
5.	Gold	$\begin{array}{c} \hline 6 \mid 6 \ 7 \end{array}$	
6.	Gold	$\begin{array}{c} 7 \ 6 \mid 5 \ 6 \ 7 \\ \hline 7 \ 6 \mid 6 \ 7 \end{array}$	
7.	Gold		$\begin{array}{c} 7 - 5 \mid 3 - 6 \\ \hline 7 - 4 \mid 4 - 7 \end{array}$
8.	Gold-Amalgam	$\begin{array}{c} 4 \ 5 \ 6 \text{ Gold Amg} \\ \hline 5 \ 6 \text{ Amg} \end{array}$	
9.	Gold-Amalgam	$\begin{array}{c} 3 \ 4 \text{ Au Amg} \\ \hline 3 \text{ Au} \end{array}$	$\begin{array}{c} 5 - 3 \mid \text{Au} \end{array}$
10.	Gold-Amalgam	$\begin{array}{c} 7 \ 6 \mid 5 \ 6 \\ \hline 6 \mid 6 \end{array} \text{ Amg}$	$\begin{array}{c} 5 \mid \text{Au} \end{array}$
11.	Amalgam-Palliag	$\begin{array}{c} \hline 6 \ 5 \end{array} \text{ Amg}$	$\begin{array}{c} 5 \mid \text{Au} \end{array}$
12.	Amalgam-Palliag	$\begin{array}{c} 7 \mid 7 \\ \hline 7 \ 6 \mid 5 \ 6 \ 7 \end{array} \text{ Amg}$	$\begin{array}{c} 6 \ 5 \mid 5 \ 6 \text{ Palliag} \end{array}$
13.	Gold-Palliag		$\begin{array}{c} 1 \mid 1 \text{ Gold} \\ \hline 3 \mid 3 \text{ Palliag, Gold} \end{array}$
14.	Gold-Stahl		$\begin{array}{c} 3 \mid 3 \text{ Goldkr., Stahlplatten} \\ \hline \end{array}$
15.	Gold-Stahl		$\begin{array}{c} 1 \mid 3 \\ \hline 3 \mid 3 \end{array} \text{ Goldkr., Stahlplatten}$
16.	Gold-Stahl-Randolf		$\begin{array}{c} \hline 1 \ 2 \ 3 \ 4 \text{ Goldkr., Stahlplatte} \\ 8-3 \mid 4-8 \text{ Randolf Br. -Goldbr.} \end{array}$

Einstellung

Verletzungen durch Metalle in der Mundhöhle

Alter der Arbeit	Alter u. Geschl. des Patienten	Beschwerden		Ursachen		Abhilfe
		theoretisch	praktisch	theoretisch	praktisch	
8	14 ♂	keine	keine	keine	keine	keine
	24 ♀	vorhanden	keine	Verarbeitung	keine	keine
12	32 ♀	vorhanden	keine	Verarbeitung	keine	keine
1	22 ♂	vorhanden	keine	Verarbeitung	keine	keine
2	26 ♀	keine	keine	keine	keine	keine
6	25 ♀	keine	keine	keine	keine	keine
13	39 ♀	keine	keine	keine	keine	keine
6 12	38 ♀	vorhanden	keine	Kontakt, Verarb.	keine	keine
2 14	48 ♂	vorhanden	keine	Kontakt, Verarb.	keine	keine
4 9	30 ♂	vorhanden	keine	Kontakt, Verarb.	keine	keine
25 1	37 ♂	vorhanden	keine	Verarbeitung	keine	keine
15 7	41 ♀	vorhanden	keine	Verarbeitung	keine	keine
45 36	76 ♂	keine	keine	keine	keine	keine
11 10	44 ♂	keine	keine	keine	keine	keine
45 6	76 ♀	keine	keine	keine	keine	keine
40 3 ?	72 ♀	vorhanden	vorhanden	Randolf	Korrosion	entfernen

über die von mir untersuchten Patienten auf

Fall	Material	Lokalisatio (Füllung)	Lokalisation (Prothese, Brücke)
17.	Gold-Stahl-Silca		$\overline{\quad}$ Stahlplatte $5 \mid 4$ Goldkr., Silcacr.
18.	Gold-Stahl-Palliag	$\begin{array}{c} \mid \\ \hline 3 \end{array}$ Gold	$\overline{\quad}$ Stahlplatte $6 \mid 5 \ 6$ Palliag-Kronen
19.	Gold-Stahl-Palliag - Amalgam	$\overline{7 \ 5 \ 3 \mid 3 \ 4 \ 5 \ 7}$ Amg	$\overline{\quad}$ $7 \mid 3$ Palliagkr., Goldkr., Stahlbüg
20.	Gold-Kunststoff	$\overline{4 \ 3 \mid 3}$ Gold	$\overline{\quad}$ Kunststoffplatte) Goldklamm Kunststoffplatte)
21.	Gold-Stahl-Kunststoff		$\begin{array}{c} 3 \mid 3 \\ \hline 3 \end{array}$ Goldkr. mit Facetten, Stahlbü

etzung

zusammenstellung

Veränderungen durch Metalle in der Mundhöhle

	Alter der Arbeit	Alter u. Geschl. d. Patienten	Beschwerden		Ursachen		Abhilfe
			theoretisch	praktisch	theoretisch	praktisch	
	9 11 2	47 ♀	vorhanden	vorhanden	Silica	Korrosion	entfernen
	5 ? 2	60 ♂	keine	keine	keine	keine	keine
l	25 ? ? 5	55 ♂	vorhanden	keine	Verarbeitung	keine	keine
ern	20 6	48 ♀	keine	keine	keine	keine	keine
el	11 4	52 ♂	keine	keine	keine	keine	keine

nicht wieder auf. Das ist nach Stegemann (20) der Grund, weshalb Metalle in Kontaktstellung verwendet werden können. Die betreffenden Metalle sind: Goldlegierungen (Karat- und Platingolde), Silber-Palladiumlegierungen, Edelstahllegierungen und Gußlegierungen (Chrom-Cobalt).

Ich komme also zu dem Ergebnis, das sich in erster Linie auf Berichte von exakten Messungen, aber auch auf eigene Erfahrungen aus der täglichen Praxis begründet, von 21 untersuchten Patienten waren 19 beschwerdefrei, nur 2 Patienten klagten über Symptome, die aber auf die unedlen Metalle Randolf und Silca zurückzuführen waren, daß Dentaledelmetalle und Dentaledelstähle in einer Mundhöhle verarbeitet werden können, sofern sie den Forderungen nach Homogenität, Herstellung und Auswahl für Dentalzwecke überhaupt entsprechen. Es treten dabei wohl Ströme auf, die aber so gering sind, daß man sie nicht für pathologisch wirkend bezeichnen kann, nach Köhler (8) bis zu 0,5 mA. Diese herrschen auch zwischen gleichen Metallegierungen, wie Gold - Gold, und damit ist die Forderung hinfällig, eine Goldprothese in einem Mund eingliedern zu müssen, in dem bereits Goldkronen vorhanden sind. Die auftretenden Ströme, die zwischen einer Goldprothese und Goldkronen entstehen, unterscheiden sich nicht von denen, die zwischen einer Stahlprothese und Goldkronen herrschen.

Abschließend möchte ich sagen, daß die Forschungen der letzten Jahre immer engere Wechselbeziehungen zwischen Elektrizität und Materie aufgedeckt haben. Heute ist man zu der Überzeugung gekommen, daß Elektrizität zum Wesen der Stoffe und ihrer kleinsten Einheiten gehört.



F. LITERATURNACHWEIS

1. Erkes, F.: "Neuralgieforme Schmerzen im Kiefergebiet durch elektrische Ströme."
D.Z.Z. 1954 Jg. 9, H. 23, S.1366-67
2. Falk, K.-Weikart, P.: "Werkstoffkunde"
Verlag Carl Hanser, München 1959, 3. Auflage,
S. 70-85, 160-168
3. Grasser, H.: "Zahnärztliche Welt und zahnärztliche Rundschau"
1959 Jg5, H.12, S. 479-485
4. Greve, C.: "Übersicht über die wichtigsten Geschehnisse in der Zahnheilkunde"
ZM 1953, Jg.41, Nr. 7 S. 228-229
5. Hurtig, K.G.: "Med.dt. Messungen elektrischer Spannungen in der Mundhöhle und ihre Bedeutung für die konservierende Zahnheilkunde"
Med.dt.1955 München, S 5-10, 16-27, 32-37
6. Hill nach Grasser
7. Knapwost, A.: "Über die Entstehung und Wirkung elektrischer Ströme bei Verwendung verschiedener Metalle im Mund"
D. Z. Z. Rev.15, 1935, S. 848-849
8. Köhler, E.: "Kritische Betrachtungen über Messungen elektrischer Potentiale im Munde"
D. Z. Z.1958 Jg.13, H. 6, S. 313-327
9. Leonhardt, H.: "Metalle in der Zahnheilkunde"
D. Z. Z.1958, Jg.12, H. 24, S. 835-837

10. Loebich, O.: "Zahnärztliche Praxis"
Sonderdruck 1954, Jg.5, Nr. 13, S.412-413
11. Möller nach Grasser
12. Öttl nach Erkes
13. Pankiewicz, R.W.: "Elektrogalvanische Ströme in der Mundhöhle"
Post.stomat. Warszawa 1955, Jg.2 H.7,
S. 123-124
14. Phillips, W.: "Die Bedeutung elektrischer Ströme in der
Mundhöhle"
D.Z.Z.1957, Jg.12, H.18, S.1222-1223
15. Rebel, H.: "Amalgam als Füllwerkstoff"
D.Z.Z.1955 Jg.10, H.23, S.1588-94
16. Rheinwald, U.: "Beiträge zur Elektrobiologie"
Zahnärztliche Welt, 1953, Jg.1, Nr.2, S.31-33
Rheinwald, U.: "Über das edle Verhalten der Amalgame"
D.Z.Z.1955 Jg.10, H.23, S.1609-1611
Rheinwald, U.: "Bioelektrische Metallwirkungen in der Mund-
höhle"
Österreichische Zeitschrift für Stomatologie,
1956, Nr. 10, S.235-239
17. Schmidberger, G.: "Elektrische Ströme in der Mundhöhle"
Med.dt.1957, Erlangen, S.2-6, 31-36
18. Schriever, W. -
Diamond, L.E.: "Durch Metallfüllungen bedingte Spannungs-
differenzen und elektrische Ströme"
Journal of dental Research, 1952 vol.31
19. Spreng, M.: "Die Grenzen der zahnärztlichen Therapie bei
Prothesenstomatopathie"
D.D.Z. 1959 Jg.13, H.18, S.586-587

20. Stegemann, K.: "Korrosionserscheinungen an Dentallegierungen, Teil 1: Untersuchungen an homogenen Edelmetallegerungen"
D.Z.Z.1956, Jg.11, H.7, S.391-409
- Stegemann, K.: "Korrosionserscheinungen an Dentallegierungen, Teil 2: Untersuchungen an Dentaledelstählen"
D.Z.Z.1958, Jg.7, H.2, S.105-116
21. Tholuck, H.J.: "Die Entstehung und Wirkung elektrischen Stromes in der Mundhöhle"
M.m.W.1925 S.518-519
22. Witzel, E.: nach Tholuck

Lehrbücher

- I. Chemiker Taschenbach 1 - 3
Verlag, Julius Springer, Berlin 1937
- II. Grimsehl, Lehrbuch der Physik
Verlag Ernst Klett, Stuttgart 1951
- III. Landois-Rosemann: Physiologie des Menschen
Verlag, Urban und Schwarzenberg,
Berlin-München 1950
- IV. Scheid-Flörke: Chemie
Verlag Quelle und Meyer, Leipzig 1940
- V. Schütz: Physiologie, Verlag, Urban und Schwarzenberg, Berlin-München 1946
- VI. Ulich: Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie. Verlag, Theodor Steinkopf, Dresden-Leipzig 1948
- VII. Westphal: Physik,
Verlag Julius Springer, Berlin-Heidelberg 1947

Am Schluß meiner Arbeit danke ich
Herrn Privatdozent Dr. Link für die
freundliche Überlassung des Themas

LEBENS LAUF

Am 31. März 1934 wurde ich als Tochter des Bauingenieurs Heinrich Dönges und seiner Ehefrau Ottilie geb. Peters in Essen geboren.

Von Ostern 1940 bis Weihnachten 1944 besuchte ich in Essen die Volksschule. Im Herbst 1945 bestand ich die Aufnahmeprüfung an der Viktoria-Schule in Essen. Dort blieb ich bis zur Obersekunda. Dann besuchte ich die Schule des Landerziehungsheimes Reichersbeuern Obb. Diese Schulausbildung beschloß ich im Sommer 1954 mit dem Abitur.

Von Herbst 1954 bis Herbst 1956 studierte ich an der Universität Göttingen Zahnheilkunde. Dort bestand ich im Mai 1956 die zahnmedizinische Vorprüfung. Im Herbst 1956 setzte ich mein Studium der Zahnmedizin an der Universität München fort. Im Sommersemester 1959 bestand ich das zahnmedizinische Staatsexamen.

